

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 Offenlegungsschrift  
10 DE 100 10 400 A 1

21 Aktenzeichen: 100 10 400.2  
22 Anmeldetag: 28. 2. 2000  
43 Offenlegungstag: 6. 9. 2001

51 Int. Cl.<sup>7</sup>:  
F 28 D 9/00  
F 28 D 9/02  
F 24 H 3/02  
B 01 D 1/00  
B 81 C 3/00  
F 22 B 1/28  
H 01 M 8/04

DE 100 10 400 A 1

11 Anmelder:  
Mannesmann AG, 40213 Düsseldorf, DE  
14 Vertreter:  
P. Meissner und Kollegen, 14199 Berlin

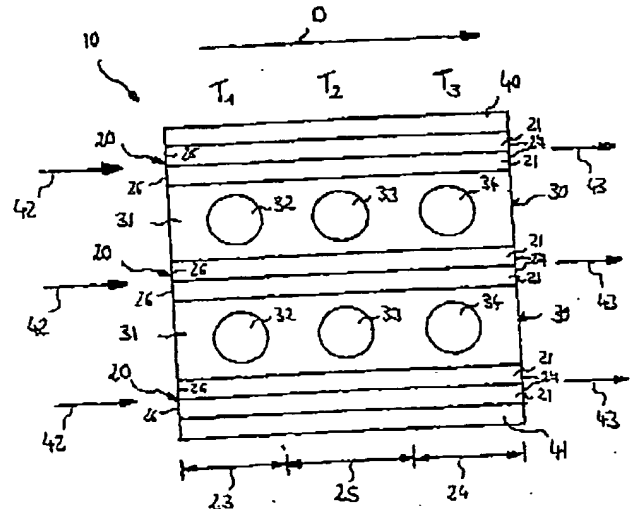
72 Erfinder:  
Walter, Hermann, Dr., 80637 München, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Vorrichtung und Verfahren zum Erhitzen und/oder Verdampfen flüssiger oder gasförmiger Medien

51 Es werden eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Erhitzen und/oder Verdampfen flüssiger oder gasförmiger Medien beschrieben, bei der/dem das zu erhitzende und/oder zu verdampfende Medium wenigstens eine Durchströmeinrichtung (20) durchströmt, die eine oder mehrere Durchströmschichten (21) mit jeweil einem oder mehreren Durchströmkkanälen (22) aufweist. Die Durchströmkkanäle (22) sind als Mikrokanäle ausgebildet. Das Medium wird über wenigstens eine aus einer oder mehreren Schichten (31) gebildete Erhitzungseinrichtung (30) zum Bereitstellen von Wärmeenergie, die mit der Durchströmeinrichtung (20) verbunden ist, erhitzt. Die Wärmeenergie wird beispielsweise über elektrische Heizelemente (32, 33, 34) bereitgestellt. Um eine vollständige Erhitzung und/oder Verdampfung des Mediums zu gewährleisten, ohne daß sich im Bereich der Eintrittsöffnungen (26) der Durchströmkkanäle (22) störende Dampfblasen bilden können, die das Strömungsverhalten und damit den Durchsatz nachteilig beeinflussen, ist erfindungsgemäß vorgesehen, daß über die Erhitzungseinrichtung (30) in den Durchströmkkanälen (22) in Strömungsrichtung (D) des Mediums ein Temperaturprofil eingestellt wird, so daß das die Durchströmkkanäle (22) durchströmende Medium in verschiedenen Bereichen (23, 25, 24) der Durchströmkkanäle (22) unabhängig voneinander einstellbaren, unterschiedlich hohen Oberflächentemperaturen ausgesetzt wird und sich auf diese Weise gezielt auf unterschiedlich hohe Temperaturen (T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>) erwärmen, ...



DE 100 10 400 A 1

## DE 100 10 400 A 1

1

## Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Erhitzen und/oder Verdampfen flüssiger oder gasförmiger Medien gemäß dem Oberbegriff von Patentanspruch 1. Weiterhin betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Erhitzen und/oder Verdampfen flüssiger oder gasförmiger Medien gemäß dem Oberbegriff von Patentanspruch 16. Schließlich betrifft die Erfindung auch eine besondere Verwendung der Vorrichtung und des Verfahrens.

Vorrichtungen zum Erhitzen und/oder Verdampfen flüssiger oder gasförmiger Medien sind bereits bekannt und werden für unterschiedliche Aufgaben eingesetzt. Eine vorteilhafte, beispielhafte Anwendungsmöglichkeit für Verdampfer liegt im Bereich der Brennstoffzellentechnologie. Brennstoffzellen sind bereits seit langem bekannt und haben insbesondere im Bereich der Automobilindustrie in den letzten Jahren erheblich an Bedeutung gewonnen.

Ähnlich wie Batteriesysteme erzeugen Brennstoffzellen elektrische Energie auf chemischem Wege, wobei aber die einzelnen Reaktanten von außen kontinuierlich zugeführt und die Reaktionsprodukte kontinuierlich abgeführt werden. Dabei liegt den Brennstoffzellen das Funktionsprinzip zu Grunde, daß sich elektrisch neutrale Moleküle oder Atome miteinander verbinden und dabei Elektronen austauschen.

Dieser Vorgang wird als Redoxprozeß bezeichnet. Bei der Brennstoffzelle werden die Oxidations- und Reduktionsprozesse über eine Membran räumlich voneinander getrennt. Die eingesetzten Membranen haben die Eigenschaft, Protonen auszutauschen, Gase jedoch zurückzuhalten. Die bei der Reduktion abgegebenen Elektronen lassen sich als elektrischer Strom durch einen Verbraucher leiten, beispielsweise den Elektromotor eines Automobils.

Als gasförmige Reaktionspartner für die Brennstoffzelle werden beispielsweise Wasserstoff als Brennstoff und Sauerstoff als Oxidationsmittel verwendet. Will man die Brennstoffzelle mit einem leicht verfügbaren oder leicht zu speichernden Kraftstoff wie Erdgas, Methanol, Benzin oder dergleichen betreiben, muß man diese Kohlenwasserstoffe in einer Anordnung zum Erzeugen/Aufbereiten eines Brennstoffs zunächst in ein wasserstoffreiches Gas umwandeln. Bei wenigstens einem der Reaktorelemente der Anordnung zum Erzeugen/Aufbereiten des Brennstoffs handelt es sich um einen Verdampfer. Der Verdampfer hat die Aufgabe, den Ausgangsstoff (Kraftstoff und/oder Wasser) zur Gewinnung des für die Brennstoffzelle geeigneten Brennstoffs zunächst zu verdampfen, bevor dieser in dampfförmigem Zustand zur weiteren Behandlung in das nächste Reaktorelement, beispielsweise in einen Reformier eingeleitet wird.

Die bekannten Vorrichtungen zum Erhitzen und/oder Verdampfen flüssiger oder dampfförmiger Medien, haben jedoch eine Reihe von Nachteilen, insbesondere dann, wenn sie als Verdampfer verwendet werden.

Üblicherweise weisen die bekannten Vorrichtungen wenigstens eine Durchströmeinrichtung für das zu behandelnde Medium mit einer oder mehreren Durchströmschichten auf, wobei die Durchströmschicht jeweils mit einer Anzahl von Durchströmkämen versehen sind. Die Durchströmkäme verfügen an ihrer Eintrittsseite jeweils über eine Eintrittsöffnung und an ihrer Ausgangsseite über jeweils eine Austrittsöffnung. Das zu verdampfende oder zu erheizende Medium tritt über die Eintrittsöffnung in die Durchströmkäme ein, durchströmt diese, wobei es mittels einer Erhitzungseinrichtung erhitzt beziehungsweise verdampft wird, und tritt dann an der Ausgangsseite über die Austrittsöffnung aus dem jeweiligen Durchströmkanal aus. Die Durchströmkäme sind über ihre Eintrittsöffnungen mit einer Zuleitung für das zu erheizende und/oder zu verdamp-

2

fende Medium und über ihre Austrittsöffnungen mit einer entsprechenden Ableitung verbunden. In dieser Zuleitung ist in der Regel eine Fördereinrichtung, beispielsweise eine Pumpe, vorgesehen, die das Medium in die Durchströmkäme hineinpumpt. Diese Fördereinrichtung ist üblicherweise so ausgelegt, daß sie nur einen geringen Überdruck gegenüber dem Druck an den Austrittsöffnungen der Durchströmkäme erzeugt.

Die Bereitstellung der zum Erhitzen und/oder Verdampfen des Mediums benötigten Wärmeenergie erfolgt über wenigstens eine Erhitzungseinrichtung, die aus einer oder mehreren Schichten gebildet ist und die mit der Durchströmeinrichtung im Sinne eines Wärmeaustauschers verbunden ist. Die Erhitzungseinrichtung kann beispielsweise eine Reihe von elektrisch betriebenen Heizpatronen aufweisen. Die Heizpatronen werden alle mit gleicher Leistung angesteuert, so daß die über die Heizpatronen in den Durchströmkämen erzeugte Oberflächentemperatur über die das die Durchströmkäme durchströmende Medium erhitzt beziehungsweise verdampft wird, entlang der gesamten Durchströmeinrichtung durch die Durchströmkäme in etwa gleich hoch ist, wenn das Medium noch nicht durch die Durchströmkäme strömt.

Auf Grund des geringen Überdrucks der Pumpe kann sich insbesondere beim Anfahren der Vorrichtung im Eintrittsbereich um die Eintrittsöffnungen der Durchströmkäme eine Dampfblase bilden, da das Medium auf Grund der hohen Oberflächentemperaturen bereits im Eintrittsbereich der Durchströmkäme zu verdampfen beginnt. Der Druck in der Dampfblase kann infolge des Strömungswiderstands im stromaufwärts gelegenen Teil eines Durchströmkamms, in dem beispielsweise noch nicht verdampfte Tröpfchen vorhanden sein können, so hoch werden, daß er den Pumpendruck erreicht oder sogar übersteigt. Dadurch kann unter Umständen die Flüssigkeitssäule entgegen der eigentlichen Strömungsrichtung zurückgedrückt werden oder zum Stillstand kommen. Je kleiner der Querschnitt der Durchströmkäme wird, desto größer wird der Strömungswiderstand und somit die Gefahr, daß die Durchflußrate durch die Vorrichtung erheblich reduziert wird. Im schlimmsten Fall kann die Situation auftreten, daß der Durchfluß durch die Vorrichtung sogar vollständig unterbunden wird.

Dies hat auch zur Folge, daß die von den Heizpatronen erzeugte Wärmeenergie nicht in ausreichendem Maß abgeleitet werden kann, so daß sich die gesamte Vorrichtung unerwünscht stark erhitzt.

Ausgehend vom genannten Stand der Technik liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zu Grunde, eine Vorrichtung und ein Verfahren der eingangs genannten Art derart weiterzubilden, daß die beschriebenen Nachteile vermieden werden.

Insbesondere sollen eine Vorrichtung und ein Verfahren bereitgestellt werden, mit der/dem auf einfache und dennoch zuverlässige Weise eine Erhitzung und/oder Verdampfung eines flüssigen oder gasförmigen Mediums möglich gemacht wird.

Diese Aufgabe wird gemäß dem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung gelöst durch eine Vorrichtung zum Erhitzen und/oder Verdampfen flüssiger oder gasförmiger Medien, mit wenigstens einer Durchströmeinrichtung, die eine oder mehrere Durchströmschichten mit jeweils einem oder mehreren Durchströmkämen für das Medium aufweist, wobei die Durchströmkäme jeweils eine Eintrittsöffnung und eine Austrittsöffnung aufweisen und die Eintrittsöffnung mit einer Zuleitung und die Austrittsöffnung mit einer Ableitung für das Medium verbindbar ist, und mit wenigstens einer aus einer oder mehreren Schichten gebildeten Erhitzungseinrichtung zum Bereitstellen der zum Erhitzen

DE 100 10 400 A 1

3

4

und/oder Verdampfen des Mediums benötigten Wärmeenergie, die mit der Durchströmeinrichtung im Sinne eines Wärmetauschers verbunden ist. Diese Vorrichtung ist erfindungsgemäß dadurch gekennzeichnet, daß die Erhitzungseinrichtung derart ausgebildet ist, daß die Oberflächentemperatur der Durchströmkkanäle zumindest in einzelnen Bereichen der Durchströmkkanäle in Strömungsrichtung (D) des Mediums unabhängig von anderen Bereichen einstellbar sind.

Durch die Einstellbarkeit der Oberflächentemperatur in Durchströmungsrichtung des Mediums durch die Durchströmkkanäle kann zuverlässig verhindert werden, daß sich die weiter oben beschriebene nachteilige Dampfblase im Bereich der Eintrittsöffnungen der Durchströmkkanäle bilden kann. Die Vermeidung einer solchen Dampfblase kann insbesondere dann vorteilhaft verhindert werden, wenn das Oberflächentemperaturprofil derart ausgebildet ist, daß die Temperatur im Eintrittsbereich der Durchströmkkanäle deutlich geringer ist als in deren übrigen Bereichen. Vorteilhafte Ausführungsformen, wie ein geeignetes Temperaturprofil eingestellt werden kann, werden im weiteren Verlauf der Beschreibung näher erläutert.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung ist grundsätzlich dazu geeignet, Medien zu erhitzen und/oder zu verdampfen. Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Durchströmungsschicht jeweils in Mikrotechnik mit Mikrokanälen für die Durchleitung des zu behandelnden Mediums ausgebildet ist.

Beispielsweise kann die erfindungsgemäße Vorrichtung dazu verwendet werden, gasförmige oder flüssige Medien zu erhitzen. Die Erhitzung der Medien erfolgt derart, daß über die Erhitzungseinrichtung entlang der Durchströmungseinrichtung auf den Oberflächen der Durchströmkkanäle ein solches Temperaturprofil eingestellt wird, daß im Eintrittsbereich der Durchströmkkanäle eine ausreichend niedrige Temperatur im Medium vorherrscht, bei der die Bildung einer Dampfblase zuverlässig verhindert wird. In dem dem Eintrittsbereich folgenden Bereichen der Durchströmkkanäle kann dann eine höhere Temperatur eingestellt werden, so daß das gasförmige oder flüssige Medium auf die gewünschte Temperatur erhitzt wird.

Eine andere Anwendungsmöglichkeit der erfindungsgemäßen Vorrichtung liegt beispielsweise in deren Verwendung als Verdampfer für ein flüssiges Medium. In diesem Fall wird das Temperaturprofil auf den Oberflächen der Durchströmkkanäle wieder so eingestellt, daß die Temperatur im Eintrittsbereich der Durchströmkkanäle so gering ist, daß die Bildung einer Dampfblase verhindert wird. In den anschließenden Bereichen wird in ausreichendem Abstand vom Eintrittsbereich über die Erhitzungseinrichtung aber soviel Wärmeenergie zur Verfügung gestellt, daß das die Durchströmkkanäle durchströmende Medium verdampft werden kann. In den sich daran anschließenden Bereichen wird dann Wärmeenergie entsprechend der geforderten Austrittstemperatur des Dampfes zugeführt.

Im folgenden wird die Erfindung an Hand einer als Verdampfer ausgebildeten Vorrichtung beschrieben. Es ist jedoch selbstverständlich, daß die Erfindung nicht auf diese spezielle Ausgestaltung beschränkt ist.

Der Verdampfer weist wenigstens eine Durchströmeinrichtung auf, durch die das zu verdampfende flüssige Medium hindurchgeleitet wird. Die Durchströmeinrichtung umfaßt eine oder mehrere Durchströmschichten mit jeweils einem oder mehreren Durchströmkkanälen. Das zu verdampfende flüssige Medium tritt an den Eintrittsöffnungen der Durchströmkkanäle ein, durchströmt diese und verläßt die Durchströmkkanäle über deren Austrittsöffnungen. Während das zu verdampfende flüssige Medium die Durchströmkkanäle der wenigstens einen Durchströmeinrichtung durch-

strömt, wird es durch die weiterhin vorgesehene wenigstens eine Erhitzungseinrichtung erhitzt und verdampft.

Die Erhitzungseinrichtung, die mit der Durchströmeinrichtung verbunden ist, besteht aus einer oder mehreren Schichten und kann auf verschiedene Weisen ausgebildet sein. Grundsätzlich ist die Endung nicht auf eine bestimmte Ausgestaltungsform der Erhitzungseinrichtung beschränkt. Vielmehr muß diese lediglich geeignet sein, die zum Erhitzen und/oder Verdampfen des Mediums benötigte Wärmeenergie zur Verfügung zu stellen.

Vorteilhaft können jeweils mehr als eine Durchströmeinrichtung und eine Erhitzungseinrichtung vorgesehen sein. Vorzugsweise sind jeweils eine Durchströmeinrichtung und eine Erhitzungseinrichtung abwechselnd übereinander angeordnet, so daß eine Schichtabfolge entsteht. Die Anzahl der für die Vorrichtung, beispielsweise den Verdampfer, verwendeten Durchströmeinrichtungen und Erhitzungseinrichtungen ergibt sich insbesondere aus der Leistungsanforderung an die Vorrichtung.

Die Durchströmeinrichtung und die Erhitzungseinrichtung sind so miteinander verbunden, daß die von der Erhitzungseinrichtung erzeugte Wärmeenergie auf das die Durchströmkkanäle der Durchströmeinrichtung durchströmende Medium übertragen werden kann.

Erfindungsgemäß ist die Erhitzungseinrichtung derart ausgebildet, daß in den Durchströmkkanälen entlang der Durchströmungseinrichtung die Oberflächentemperatur zumindest in einzelnen Bereichen unabhängig von anderen Bereichen einstellbar ist. Da das Medium aus einer Zuleitung an den Eintrittsöffnungen der Durchströmkkanäle in diese eintritt, die Durchströmkkanäle über deren gesamte Länge durchströmt und anschließend an den Austrittsöffnungen am Ende der Durchströmkkanäle wieder in eine Ableitung austritt, ist das Temperaturprofil des Wärme aufnehmenden Mediums auch über die Länge der Durchströmkkanäle beeinflussbar.

Durch die erfindungsgemäße Ausgestaltung der Vorrichtung kann die Zufuhr der zum Erhitzen und/oder Verdampfen der Medien bereitgestellten Wärmeenergie so gezielt gesteuert werden, daß eine Dampfblase im Bereich der Eintrittsöffnungen der Durchströmkkanäle sicher verhindert wird, wobei das Medium dennoch auf die gewünschte Temperatur gebracht werden kann.

Wie im Hinblick auf den Stand der Technik bereits ausgeführt wurde, trat bei bekannten Verdampfern der Fall auf, daß sich während der Aufheizung des Verdampfers vor diesem eine Art Dampfproppfen bildete. Dieser wurde durch Verdampfen des Mediums direkt am Eintrittsbereich der Durchströmkkanäle erzeugt. Der so erzeugte Dampf wurde nicht sofort entlang der Durchströmungsrichtung abgeführt, sondern stauete sich vor den Kanälen auf. Gegen diesen Pfropfen, der einen Überdruck bildete, kam die Fördereinrichtung nur beschränkt bis gar nicht an, so daß sich die an der Fördereinrichtung eingestellte Fördermenge drastisch reduzierte. Im Rahmen der Weiterentwicklung der bekannten Verdampfer wurde nun überraschenderweise herausgefunden, daß sich nach dem Abschalten der Erhitzungseinrichtung der Eintrittsbereich der Vorrichtung beziehungsweise der Durchströmkkanäle schnell soweit abkühlt, daß kein Dampfproppfen vor den Durchströmkkanälen mehr aufgebaut wird. Das Medium wird dabei soweit vom Eintrittsbereich entfernt im Inneren des Verdampfers verdampft, daß es den Verdampfer in Durchströmungsrichtung verläßt, ohne daß ein zur nennenswerten Behinderung der Flüssigkeitszufuhr führender Überdruck des entstehenden Dampfes, beispielsweise durch Flüssigkeitstropfen in Mikrokanälen, aufgebaut wird. Die Fördereinrichtung kann deshalb die eingestellte Fördermenge durch den Verdampfer leiten. Die

## DE 100 10 400 A 1

5

6

ser Effekt wurde in der erfindungsgemäßen Vorrichtung genutzt.

Um zu vermeiden, daß die Erhitzungseinrichtung zunächst betätigt und dann abgeschaltet werden muß, damit eine störungsfreie Erhitzung und/oder Verdampfung des Mediums erfolgen kann, ist die Vorrichtung erfindungsgemäß dahingehend weitergebildet worden, daß an der Oberfläche der Strömungskanäle ein Temperaturprofil in Strömungsrichtung gezielt eingestellt werden kann, so daß ein kontinuierlicher Betrieb der Vorrichtung möglich wird.

Vorteilhafte Ausführungsformen der Vorrichtung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Vorteilhaft können die Durchströmsschichten in Mikrostrukturtechnik und die Durchströmkanäle als Mikrokanäle ausgebildet sein. Durch die Ausgestaltung der Vorrichtung in Mikrostrukturtechnik wird erreicht, daß diese bei hoher Leistungsfähigkeit besonders platzsparend ausgebildet werden kann. Dabei ist im allgemeinen vorgesehen, daß auf einem kleinen Bauraum im Kubikzentimeterbereich eine große Anzahl von mehreren tausend Mikrokanälen angeordnet ist. Durch diese Mikrokanäle, die jeweils eine Höhe und Breite von nur wenigen µm aufweisen, werden große spezifische Oberflächen, das heißt hohe Verhältnisse von Kanaloberfläche zu Kanalvolumen, geschaffen, über die der Wärmeaustausch besonders effektiv erfolgt. Dadurch sind solche Vorrichtungen, insbesondere wenn sie als Verdampfer eingesetzt werden, außerordentlich leistungsfähig.

Wenn ein Verdampfer in Verbindung mit einem Brennstoffzellensystem, etwa einem Brennstoffzellensystem für ein Fahrzeug, verwendet werden soll, steht in der Regel nur ein geringes Platzangebot zur Verfügung. Aus diesem Grund müssen die einzelnen Komponenten des Brennstoffzellensystems möglichst klein ausgebildet werden. Zu diesem Zweck kann beispielsweise ein Verdampfer in Mikrostrukturtechnik verwendet werden.

Die Erhitzungseinrichtung ist regelmäßig derart ausgebildet, daß die Temperatur der Innenoberfläche zumindest in einzelnen Bereichen der Durchströmkanäle frei und unabhängig von anderen Bereichen einstellbar ist. Dadurch kann das Temperaturprofil den aktuellen Gegebenheiten angepaßt werden. Bei herkömmlichen Wärmeaustauschern und Verdampfern läßt sich die Leistung der Wärmequelle üblicherweise nur als ganzes beeinflussen, so dass im Fall einer Drosselung die Oberflächentemperatur über die gesamte Länge der Durchströmkanäle abgesenkt wird.

Erfindungsgemäß ist die Erhitzungseinrichtung derart ausgebildet, daß in den Durchströmkanälen entlang der Durchströmungseinrichtung ein Temperaturprofil im Medium nach der Beziehung  $T_1 < T_2 < T_3$  einstellbar ist, mit  $T_1$  = Temperatur im Eintrittsbereich der Durchströmkanäle,  $T_3$  = Temperatur im Austrittsbereich der Durchströmkanäle und  $T_2$  = Temperatur im Bereich zwischen dem Eintrittsbereich und dem Austrittsbereich der Durchströmkanäle. Dies wird durch eine geeignete Wahl der Oberflächentemperatur in den Durchströmungskanälen erreicht und soll anhand eines Beispiels verdeutlicht werden.

Wenn in der Vorrichtung beispielsweise Wasser verdampft werden soll, muß über die von der Erhitzungseinrichtung erzeugte Oberflächentemperatur ein solches Temperaturprofil im Medium eingestellt werden, daß die im Eintrittsbereich der Durchströmkanäle vorherrschende Temperatur  $T_1$  so klein ist, daß sich eine Dampfblase vor den Eintrittsöffnungen der Durchströmkanäle nicht bilden kann. Beispielsweise kann die Temperatur  $T_1$  so gewählt werden, daß das Wasser im Eintrittsbereich der Durchströmkanäle eine Temperatur von 80°C nicht übersteigt. Im weiteren Durchströmungsverlauf der Durchströmkanäle muß das Wasser auf Siedetemperatur  $T_2$  erhitzt und verdampft wer-

den. Hierzu sollte die Oberflächentemperatur der Durchströmkanäle in dem Bereich, der sich dem Eintrittsbereich der Durchströmkanäle anschließt die Verdampfungstemperatur deutlich übersteigen. Beispielsweise kann die Oberflächentemperatur so gewählt werden, daß das Wasser beziehungsweise der bereits gebildete Wasserdampf je nach Druck bis auf eine Temperatur  $T_2$  von 150°C erwärmt wird.

Die Auswahl der Länge des Eintrittsbereichs und des zweiten Bereichs erfolgt vorzugsweise derart, daß die Verdampfung des Wassers erst möglichst weit im Inneren der Durchströmkanäle stattfindet. Auf diese Weise wird gewährleistet, daß immer eine ausreichend große Menge an Flüssigkeit in die Durchströmkanäle nachströmen kann, so daß sich im Eintrittsbereich der Kanäle kein Überdruck aufbauen kann, der die Durchströmrate verringert.

Um das mittlerweile verdampfte Wasser so zu überhitzen, daß der austretende Dampf eine für weitere Prozessschritte erforderliche Temperatur  $T_3$  hat, muß die im Austrittsbereich der Durchströmkanäle eingestellte Oberflächentemperatur deutlich höher eingestellt werden. Beispielsweise kann eine Erhitzung des Dampfes in den Durchströmkanälen auf eine Temperatur  $T_3$  von etwa 230°C angestrebt werden, wozu die Kanaloberfläche im Austrittsbereich auf beispielsweise 350°C erhitzt werden müßte.

Bei dem vorstehend beschriebenen Beispiel handelt es sich um rein exemplarische Werte, die den grundlegenden Gedanken der Einstellung eines Temperaturprofils verdeutlichen sollen. Die Erfindung ist jedoch nicht auf die genannten Temperaturwerte beschränkt. Vielmehr hängt die Einstellung der jeweils erforderlichen Temperaturen von den zu erheizenden und/oder verdampfenden Medien sowie der Struktur der Durchströmkanäle ab. Über die Struktur der Durchströmkanäle, die vorzugsweise als Mikrokanäle ausgebildet sind, wird die Oberfläche festgelegt, die mit dem zu erheizenden beziehungsweise zu verdampfenden Medium in Kontakt kommt. Je größer der Kontaktbereich zwischen Medium und Oberfläche ist, desto besser kann Wärme übertragen werden.

Vorteilhaft weist die Erhitzungseinrichtung mehrere Schichten auf, in denen zur Einstellung des Temperaturprofils jeweils eine elektrische Heizeinrichtung, insbesondere jeweils zwei oder mehr elektrische Heizelemente vorgesehen sind. Derartige Heizelemente können beispielsweise, jedoch nicht ausschließlich, als Heizdrähte, Heizpatronen oder dergleichen ausgebildet sein. Bei Betrieb einer mit den Heizelementen verbundenen elektrischen Leistungsquelle wird in den Heizelementen Wärme erzeugt, die dann an das zu erheizende beziehungsweise verdampfende Medium übertragen werden kann.

Zumindest einzelne Heizelemente sind frei und unabhängig von den anderen Heizelementen regelbar. Dadurch wird eine einfache und dennoch genaue Einstellung des Temperaturprofils in verschiedenen Bereichen der Durchströmkanäle im durchströmenden Medium über die jeweils vorhandene Oberflächentemperatur in den Durchströmkanälen möglich.

Dies soll anhand eines Beispiels beschrieben werden. Bei diesem Beispiel werden in Anlehnung an die weiter oben beschrieben drei einzustellenden Temperaturen  $T_1$  bis  $T_3$  insgesamt drei elektrische Heizelemente eingesetzt. Es ist jedoch selbstverständlich, daß die Erfindung nicht auf eine bestimmte Anzahl von Heizelementen beziehungsweise von einzustellenden unterschiedlichen Temperaturbereichen des Temperaturprofils beschränkt ist. Vielmehr ergibt sich die Anzahl der erforderlichen Heizelemente wie die Anzahl unterschiedlicher Temperaturbereiche des Temperaturprofils nach der jeweiligen konkreten Anforderung an die Vorrichtung.

Wenn, wie beschrieben, drei Heizelemente verwendet

DE 100 10 400 A 1

7

worden, ist das erste Heizelement vorzugsweise derart in der Erhitzungseinrichtung angeordnet, daß die von diesem abgegebene Wärmeenergie die Temperatur T1 des Mediums im Eintrittsbereich der Durchströmkanäle beeinflusst. Das dritte Heizelement ist vorzugsweise derart in der Erhitzungseinrichtung angeordnet, daß es die Temperatur T3 des Temperaturprofils im Austrittsbereich der Durchströmkanäle bestimmt. Das zweite Heizelement ist vorzugsweise zwischen dem ersten und dem dritten Heizelement angeordnet und bestimmt die Temperatur T2 des Temperaturprofils des Mediums, die in demjenigen Bereich der Durchströmkanäle eingestrichelt wird, der sich zwischen dem Eintrittsbereich und dem Austrittsbereich befindet.

Um die Bildung einer schädlichen Dampfblase an den Eintrittsöffnungen der Durchströmkanäle zu verhindern, sollte die erste Heizpatrone mit vergleichsweise geringer Heizleistung betrieben werden. Auf diese Weise wird erreicht, daß das zu erhitzende beziehungsweise zu verdampfende Medium im Eintrittsbereich der Durchströmkanäle die Verdampfungstemperatur nicht erreicht und in flüssigem Zustand verbleibt. Es kann auch eine Lösung vorgesehen sein, bei der auf ein Heizelement im Eintrittsbereich vollständig verzichtet wird. Das dritte Heizelement kann mit hoher Heizleistung beaufschlagt werden, während durch eine Leistungsvariation bei dem mittleren, zweiten Heizelement das Temperaturprofil variiert werden kann, so dass der Eintritt des zu verdampfenden Mediums in den Verdampfungsbereich in den Durchströmkanälen gezielt und je nach Bedarf individuell entlang der Kanallängsachse verschoben werden kann.

Bei einer solchen Ausführungsform ist das zweite Heizelement vorteilhaft frei regelbar ausgebildet, während das erste und das dritte Heizelement jeweils nicht regelbar ausgebildet sein können. Es ist jedoch auch möglich, daß alle Heizelemente frei und damit unabhängig voneinander regelbar sind. Dies läßt eine sehr genaue und gezielte Einstellung des Temperaturprofils und der Dampfaustrittstemperatur zu.

Vorzugsweise können sich die Heizelemente quer, insbesondere senkrecht zur Durchströmungsrichtung des Mediums über mehrere Durchströmkanäle erstrecken.

Gemäß einer anderen Ausführungsform kann die Erhitzungseinrichtung eine oder mehrere Schichten aufweisen, die zur Einstellung des Temperaturprofils jeweils eine Anzahl von Kanälen für ein Wärmeträgermedium umfassen.

Diese Schichten sind vorzugsweise in Mikrostrukturtechnik und die entsprechenden Kanäle als Mikrokanäle ausgebildet. Zu den Vorteilen wird auf die vorstehenden Ausführungen im Zusammenhang mit der Durchströmereinrichtung für das Medium verwiesen.

Bei dieser Ausführungsform wird die zum Erhitzen und/oder Verdampfen des Mediums erforderliche Wärmeenergie nicht über elektrische Heizelemente sondern über ein entsprechendes Wärmeträgermedium, das beispielsweise als Flüssigkeit wie Öl oder dergleichen ausgebildet sein kann, bereitgestellt. Wenn das zu erhitzende beziehungsweise zu verdampfende Medium die Durchströmkanäle der Durchströmereinrichtung durchströmt, wird es durch das die Kanäle der Schichten der Erhitzungseinrichtung durchströmende Wärmeträgermedium erhitzt und bei Bedarf verdampft.

Vorteilhaft können die Kanäle der Schichten und die Durchströmkanäle der Durchströmschichten winklig, vorzugsweise senkrecht zueinander ausgerichtet sein ("Kreuzstrombauweise"). Wenn die Vorrichtung als Verdampfer verwendet wird, bedeutet dies, daß die zu verdampfende Flüssigkeit in einer Strömungsrichtung durch die entsprechenden Durchströmkanäle strömt, die senkrecht zur Ausrichtung der Kanäle, in denen sich das Wärmeträgermedium befindet, ausgerichtet sind.

8

Es ist jedoch auch denkbar, daß die Kanäle der Schichten und die Durchströmkanäle der Durchströmschichten parallel zueinander ausgerichtet sind. In einer solchen Bauweise können das zu erhitzende beziehungsweise zu verdampfende Medium und das Wärmeträgermedium, wenn es beispielsweise flüssig oder gasförmig ausgebildet ist, die jeweiligen Kanäle parallel oder im "Gegenstromprinzip" durchströmen.

Die einzelnen Kanäle der Schicht können zur Einstellung eines Temperaturprofils jeweils mit Wärmeträgermedien unterschiedlicher Temperatur durchströmt werden. Bei einer solcher Ausgestaltung sind die einzelnen Kanäle der Schichten und die Durchströmkanäle der Durchströmschichten vorzugsweise in "Kreuzstrombauweise" ausgerichtet. Zur Einstellung der jeweiligen Temperaturbereiche des Temperaturprofils im durchströmenden Medium entlang der Durchströmungseinrichtung ist in diesem Fall vorgesehen, daß in den entsprechenden Bereichen der Erhitzungseinrichtung vorgesehene Kanäle mit unterschiedlich heißen, den jeweiligen Temperaturerfordernissen angepaßten Wärmeträgermedien durchströmt werden.

Die Bereitstellung unterschiedlich heißer Wärmeträgermedien kann auf verschiedene Weise erfolgen. So ist es beispielsweise möglich, verschiedene Quellen mit unterschiedlich heißen Wärmeträgermedien vorzusehen. Bei einer solchen Ausführungsform werden dann die jeweiligen Kanäle mit den entsprechenden Quellen der Wärmeträgermedien verbunden.

Es ist jedoch auch denkbar, daß nur eine einzige Wärmeträgermediumquelle vorgesehen ist, die mit allen Kanälen, die vom Wärmeträgermedium durchströmt werden sollen, verbunden ist. Das Wärmeträgermedium kann dann außerhalb der Vorrichtung in der jeweiligen Zuleitung zu den verschiedenen Kanälen der Erhitzungseinrichtung durch eine geeignete Heizquelle erhitzt und in bedarfsweise unterschiedlich erhitztem Zustand durch die dafür vorgesehenen Kanäle der Erhitzungseinrichtung hindurchgeleitet werden. Die vom Wärmeträgermedium gespeicherte Wärmeenergie wird dabei an das zu erhitzende beziehungsweise zu verdampfende Medium abgegeben. Die Erhitzung des Wärmeträgermediums auf die erforderliche Temperatur kann beispielsweise über elektrische Heizelemente, geeignete Wärmetauscher oder dergleichen erfolgen.

In weiterer Ausgestaltung können die Kanäle der Schichten katalytisch beschichtet sein. In diesem Fall kann als Wärmeträgermedium ein unter dem Einfluß der katalytischen Beschichtung exotherm reagierendes Reaktionsmedium vorgesehen sein. Wenn dieses Reaktionsmedium die Kanäle durchströmt, wird durch die entsprechende Beschichtung der Kanalwände eine Reaktion ausgelöst, wobei Wärme entsteht. Diese Wärme kann auf das zu erhitzende beziehungsweise zu verdampfende Medium, das die Durchströmkanäle der Durchströmereinrichtung durchströmt, übertragen werden.

Wenn die Bereitstellung der erforderlichen Wärmeenergie auf diese Weise erfolgt, sind die Kanäle der Erhitzungseinrichtung und die Durchströmkanäle der Durchströmereinrichtung vorzugsweise entsprechend dem "Gegenstromprinzip" ausgerichtet. In diesem Fall korrespondiert der Eintrittsbereich der Durchströmkanäle mit dem Eintrittsbereich der Kanäle der Erhitzungseinrichtung. Wenn das Reaktionsmedium die katalytisch beschichteten Kanäle durchströmt, wird es im Eintrittsbereich der Kanäle zunächst zu einer sehr heftigen Reaktion kommen, bei der sehr viel Wärme freigesetzt wird. Auf diese Weise kann in den Durchströmkanälen in deren Austrittsbereich eine sehr hohe Temperatur eingestellt werden. Wenn das Reaktionsmedium die katalytisch beschichteten Kanäle im weiteren Verlauf durchströmt, wird

DE 100 10 400 A 1

9

10

die Heftigkeit der auftretenden Reaktion und damit die Menge der entstehenden Wärmeenergie immer schwächer. Im Austrittsbereich der katalytisch beschichteten Kanäle ist die Reaktion am schwächsten, da ein Großteil des Reaktionsmediums bereits zuvor reagiert hat. Im Austrittsbereich der katalytisch beschichteten Kanäle wird somit den Erfordernissen entsprechend nur eine relativ geringe Menge an Wärmeenergie zur Verfügung gestellt.

Da die katalytisch beschichteten Kanäle und die Durchströmkanäle vorzugsweise im "Gegenstromprinzip" durchströmt werden, bedeutet dies, daß dem die Durchströmkanäle durchströmenden Medium im Eintrittsbereich der Durchströmkanäle nur wenig Wärmeenergie zugeführt wird, wobei die Menge der zugeführten Wärmeenergie im weiteren Durchströmungsverlauf des Mediums durch die Durchströmkanäle zunehmend größer wird. Im Endbereich der Durchströmkanäle ist die zur Verfügung stehende Wärmeenergie am größten. Dadurch können die im Hinblick auf die elektrischen Heizelemente bereits beschriebenen vorteilhaften Effekte im Hinblick auf die Einstellung des Temperaturprofils erzielt werden.

Vorzugsweise können die Kanäle der Schichten einen oder mehrere Bereiche mit jeweils unterschiedlicher katalytischer Beschichtung aufweisen. Das Temperaturprofil kann durch eine solche Variation der katalytischen Beschichtung, beispielsweise einer Variation in der Erhitzungseinrichtung in Richtung der Längsachse der Kanäle, gezielt beeinflusst werden.

In der Zuleitung zur Eintrittsöffnung der Durchströmkanäle kann wenigstens eine Fördereinrichtung, insbesondere eine Pumpe, vorgesehen sein. Durch die erfindungsgemäße Möglichkeit, in den Durchströmkanälen ein Temperaturprofil frei einzustellen, kann eine Fördereinrichtung verwendet werden, die gegenüber dem Umgebungsdruck nur einen geringen Überdruck erzeugt. Solche Fördereinrichtungen sind einfach und kostengünstig herstellbar.

In weiterer Ausgestaltung kann in der Zuleitung im Bereich der Eintrittsöffnung der Durchströmkanäle und/oder in der Ableitung im Bereich der Austrittsöffnung der Durchströmkanäle ein Temperatursensor vorgesehen sein. Über diesen Temperatursensor beziehungsweise diese Temperatursensoren können die Temperaturen des Mediums beim Eintritt in die Vorrichtung sowie beim Austritt aus der Vorrichtung erfaßt werden. Über die Erfassung der Temperaturen kann die Einstellung der zweckmäßigen Oberflächentemperatur in den Durchströmkanälen gesteuert werden. Wenn die Temperatur im Eintrittsbereich der Durchströmkanäle etwa zu hoch ist, kann durch eine entsprechende Ansteuerung der Erhitzungseinrichtung, beispielsweise der jeweiligen elektrischen Heizelemente, die Temperatur im Eintrittsbereich gesenkt werden. Auf entsprechende Weise kann das Temperaturprofil auch zu höheren Temperaturen hin variiert werden, wenn dies erforderlich ist. Im Rahmen der Erfindung kann auch eine Erhitzungseinrichtung vorgesehen sein, die außer einer mit einem Wärmeträgermedium betriebenen Heizeinrichtung im Sinne einer Zusatzheizung auch eine elektrische Heizeinrichtung umfaßt. Auf diese Weise könnte vorteilhaft eine Grundlast der Erwärmung über das Wärmeträgermedium eingebracht werden, während die erforderlichen höheren Temperaturen beispielsweise über die besonders einfach regelbare elektrische Zusatzheizung erzeugt werden.

Gemäß einem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zum Erhitzen und/oder Verdampfen flüssiger oder gasförmiger Medien unter Verwendung einer wie vorstehend beschriebenen erfindungsgemäßen Vorrichtung bereitgestellt, bei dem das zu erhitzende und/oder zu verdampfende Medium einen oder mehrere Durchström-

kanäle wenigstens einer Durchströmeinrichtung durchströmt und dabei über wenigstens eine Erhitzungseinrichtung zum Bereitstellen von Wärmeenergie, die mit der wenigstens einen Durchströmeinrichtung im Sinne eines Wärmeaustauschers verbunden ist, erhitzt und/oder verdampft wird. Das Verfahren ist erfindungsgemäß dadurch gekennzeichnet, daß die Erhitzungseinrichtung zur Beeinflussung der Oberflächentemperatur in den Durchströmkanälen in Strömungsrichtung des Mediums zumindest in einzelnen Bereichen unter voneinander unabhängig einstellbaren Betriebsbedingungen betrieben wird. Das Medium wird daher in verschiedenen Bereichen der Durchströmkanäle in Strömungsrichtung unterschiedlich hohen Temperaturen ausgesetzt.

Auf diese Weise wird ein Verfahren geschaffen, mit dem flüssige oder gasförmige Medien auf einfache und dennoch zuverlässige Weise erhitzt beziehungsweise verdampft werden können, ohne daß sich die im Stand der Technik auftretenden nachteiligen Dampfblasen im Eintrittsbereich der Durchströmkanäle bilden können. Zu den Vorteilen, Effekten, Wirkungen und der Funktionsweise des erfindungsgemäßen Verfahrens wird auf die vorstehenden Ausführungen zur erfindungsgemäßen Vorrichtung vollinhaltlich Bezug genommen und hiermit verwiesen.

Die Erfindung sieht vor, daß das Temperaturprofil des Mediums zumindest in einzelnen Bereichen der Durchströmkanäle frei und unabhängig von anderen Bereichen variiert werden kann. Vorteilhaft kann die Oberflächentemperatur der Durchströmkanäle derart eingestellt werden, daß im Eingangsbereich der Durchströmkanäle die im Hinblick auf das gewünschte Temperaturprofil niedrigste Temperatur vorherrscht.

Zur Einstellung der jeweils erforderlichen Oberflächentemperatur in einem Bereich der Durchströmkanäle kann eine elektrische Erhitzungseinrichtung mit entsprechend beziehungsweise unterschiedlicher elektrischer Leistung betrieben werden. Im Falle einer mit einem Wärmeträgermedium betriebenen Erhitzungseinrichtung kann das Wärmeträgermedium mit einer entsprechend beziehungsweise unterschiedlichen Anfangstemperatur in die jeweilige Eintrittsöffnung der Durchströmkanäle geführt werden. Auch über eine Variation der Strömungsgeschwindigkeit des Wärmeträgermediums in einzelnen Durchströmkanälen gegenüber anderen läßt sich eine Beeinflussung der Oberflächentemperatur in einem Bereich entlang der Durchströmeinrichtung zur Ausbildung eines erwünschten Temperaturprofils im zu behandelnden Medium bewirken. Selbstverständlich kann auch, wie vorstehend bezüglich der Vorrichtung bereits erwähnt, durch eine elektrische Zusatzheizung die durch eine mit einem Wärmeträgermedium betriebene Erhitzungseinrichtung erhältliche Oberflächentemperatur bei Bedarf örtlich angehoben werden, also insbesondere im Ausgangsbereich der Durchströmkanäle.

Besonders vorteilhaft kann eine wie vorstehend beschriebene erfindungsgemäße Vorrichtung und/oder ein wie vorstehend beschriebenes erfindungsgemäßes Verfahren zum Erhitzen und/oder Verdampfen eines Brennstoffs und/oder eines Kraftstoffs verwendet werden.

Ein solcher Brennstoff und/oder Kraftstoff kann beispielsweise zum Betreiben eines Brennstoffzellensystems eingesetzt werden. Ein Brennstoffzellensystem besteht in der Regel aus einer oder mehreren Brennstoffzellen, die wenigstens eine Zuleitung und wenigstens eine Ableitung für einen Brennstoff sowie wenigstens eine Zuleitung und wenigstens eine Ableitung für ein Oxidationsmittel aufweisen. Weiterhin ist üblicherweise eine Vorrichtung zum Erzeugen/Aufbereiten des Brennstoffs vorgesehen, in der der Brennstoff aus einem Ausgangsmaterial (Kraftstoff) zunächst her-



## DE 100 10 400 A 1

11

12

gestellt beziehungsweise aufbereitet wird.

Vorteilhaft kann die Vorrichtung zum Erzeugen/Aufbereiten des Brennstoffs eine Anzahl von Reaktorelementen aufweisen, beispielsweise einen Verdampfer, einen Reformier, einen Shift-Reaktor und einen Reaktor für eine selektive Oxidation. Die einzelnen Reaktorelemente sind über entsprechende Leitungen miteinander verbunden, so daß der Brennstoff während seiner Erzeugung beziehungsweise Aufbereitung die einzelnen Reaktorelemente nacheinander durchströmt. Wenigstens eines der Reaktorelemente, vorzugsweise der Verdampfer, ist als eine wie vorstehend beschriebene erfindungsgemäße Vorrichtung ausgebildet. Ein solcher Verdampfer ist etwa erforderlich, wenn Wasserstoff aus Methanol, Benzin, Erdgas, Ethanol oder anderen flüssigen Kohlenwasserstoffen reformiert werden soll. Dem Verdampfer muß zum Betrieb Wärme zugeführt werden.

Vorteilhaft kann ein wie vorstehend beschriebenes Brennstoffzellensystem in einem oder für ein Fahrzeug verwendet werden. Auf Grund der rasanten Entwicklung in der Brennstoffzellentechnologie im Fahrzeugsektor bietet eine solche Verwendung zur Zeit besonders gute Einsatzmöglichkeiten. Dennoch sind auch andere Einsatzmöglichkeiten denkbar. Zu nennen sind hier beispielsweise Brennstoffzellen für mobile Geräte wie Computer oder dergleichen bis hin zu stationären Einrichtungen wie Kraftwerksanlagen. Besonders eignet sich die Brennstoffzellentechnik auch für die dezentrale Energieversorgung von Häusern, Industrieanlagen oder dergleichen.

In bevorzugter Weise wird die vorliegende Erfindung in Verbindung mit Brennstoffzellen mit Polymermembranen (PEM) verwendet. Diese Brennstoffzellen haben einen hohen elektrischen Wirkungsgrad, verursachen nur minimale Emissionen, weisen ein optimales Teillastverhalten auf und sind im wesentlichen frei von mechanischem Verschleiß.

Die Erfindung wird nun auf exemplarische Weise anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die beiliegende Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 in stark schematisierter und vereinfachter Ansicht eine erfindungsgemäße Vorrichtung zum Erhitzen und/oder Verdampfen von Medien sowie diverse Peripherieeinrichtungen,

Fig. 2 in schematischer, seitlicher Ansicht eine erfindungsgemäße Vorrichtung zum Erhitzen und/oder Verdampfen von Medien und

Fig. 3 eine schematische Draufsicht auf den Eintrittsbereich der erfindungsgemäßen Vorrichtung, wie sie in Fig. 2 dargestellt ist.

In Fig. 1 ist eine Vorrichtung 10 zum Erhitzen und/oder Verdampfen von Medien dargestellt, die im vorliegenden Ausführungsbeispiel als Verdampfer für flüssige Medien ausgebildet ist. Der Verdampfer 10 kann beispielsweise Bestandteil einer nicht dargestellten Vorrichtung zum Erzeugen/Aufbereiten eines Brennstoffs für ein ebenfalls nicht dargestelltes Brennstoffzellensystem sein. Allerdings ist die Erfindung nicht auf diese spezielle Anwendungsform beschränkt, so daß die Vorrichtung 10 grundsätzlich für alle Anwendungen einsetzbar ist, in denen ein flüssiges oder gasförmiges Medium erhitzt und/oder verdampft werden soll.

Die Vorrichtung 10 ist an ihrer Eingangsseite 11 mit einer Zuleitung 13 verbunden, über die das zu verdampfende flüssige Medium, beispielsweise ein als Ausgangsmaterial für den Brennstoff einer Brennstoffzelle dienender Kraftstoff wie Methanol, Ethanol, Benzin oder dergleichen, in den Verdampfer 10 eingeleitet wird. An seiner Ausgangsseite 12 ist der Verdampfer 10 mit einer Ableitung 14 verbunden, über den der in den dampfförmigen Zustand überführte Kraftstoff aus dem Verdampfer 10 abgeleitet und anderen

Reaktorelementen wie beispielsweise einem nicht dargestellten Reformier zugeführt wird. Zur Binstellung einer vorgegebenen Fördermenge ist in der Zuleitung 13 eine als Pumpe ausgebildete Fördereinrichtung 15 vorgesehen, mit der ein gegenüber dem Umgebungsdruck geringer Überdruck erzeugt werden kann.

Zur Temperaturmessung am Eintritt sowie am Austritt des Verdampfers 10 ist in der Zuleitung 13 und in der Ableitung 14 jeweils ein Temperatursensor 16, 17 vorgesehen.

Der Verdampfer 10 sowie dessen Funktionsweise werden nun in Verbindung mit den Fig. 2 und 3 näher beschrieben.

Der Verdampfer 10 ist in Mikrostrukturtechnik ausgebildet. Er verfügt über insgesamt drei Durchströmeinrichtungen 20, die jeweils zwei Durchströmschichten 21 mit einer Anzahl von Durchströmkänen 22 aufweisen. Die Durchströmschichten 21 sind in Mikrostrukturtechnik und die Durchströmkäne 22 sind als Mikrokanäle ausgebildet. An der oberen und unteren Seite ist der Verdampfer 10 mit einem oberen Deckelement 40 bzw. einem unteren Deckelement 41 abgeschlossen. Zwischen den einzelnen Durchströmeinrichtungen 20 sind jeweils Erhitzungseinrichtungen 30 vorgesehen. Die Erhitzungseinrichtungen 30 bestehen im vorliegenden Beispiel aus jeweils einer Schicht 31, in der eine Anzahl von Heizelementen, im vorliegenden Fall drei elektrische Heizelemente 32, 33, 34, angeordnet sind.

Die Heizelemente 32, 33, 34, die z. B. als Heizwendeln, Heizpatronen oder dergleichen ausgebildet sein können, sind mit einer nicht dargestellten elektrischen Leistungsquelle verbunden. Bei Aufnahme elektrischer Leistung aus der elektrischen Leistungsquelle erwärmen sich die Heizelemente 32, 33, 34. Die so erzeugte Wärmeenergie kann an die Durchströmkäne 22 abgegeben werden und sorgen dort für eine entsprechend hohe Oberflächentemperatur.

Auch wenn im Beispiel gemäß den Fig. 2 und 3 jeweils drei Heizelemente pro Schicht 31 vorgesehen sind, ist die Erfindung nicht auf diese spezielle Anzahl von Heizelementen beschränkt. Ebenso kann, wie weiter oben in der Beschreibung bereits ausführlich dargelegt wurde, auf die Verwendung von elektrischen Heizelementen verzichtet werden. Stattdessen können verschiedene Schichten mit Kanälen vorgesehen sein, die in ihrem Aufbau in etwa den Durchströmschichten 21 und den Durchströmkänen 22 entsprechen. Durch diese Kanäle kann dann ein entsprechend geeignetes Wärmeträgermedium mit der für die angestrebte Oberflächentemperatur jeweils erforderlichen Temperatur hindurchgeleitet werden.

Bei dem Ausführungsbeispiel gemäß den Fig. 2 und 3 sind insgesamt zwei Erhitzungseinrichtungen 30 vorgesehen, die zwischen den Durchströmeinrichtungen 20 angeordnet sind, so daß sich eine abwechselnde Schichtfolge von jeweils einer Durchströmeinrichtung 20 und einer Erhitzungseinrichtung 30 ergibt. Die Anzahl und Anordnung der erforderlichen Durchströmeinrichtungen 20 und Erhitzungseinrichtungen 30 für den Verdampfer 10 ergibt sich je nach Bedarf und Anwendungsfall.

Nachfolgend wird nun die Funktionsweise des Verdampfers 10 beschrieben.

Das zu verdampfende Medium tritt als Medium-Zustrom 42 aus der in der Fig. 1 dargestellten Zuleitung 13 über entsprechende Eintrittsöffnungen 26 in die Durchströmkäne 22 ein. Anschließend durchströmt es die Durchströmkäne 22 in Strömungsrichtung D, das heißt in Richtung der Kanallängsachsen der Durchströmkäne 22. Während der Durchströmung der Durchströmkäne 22 wird das zunächst flüssige Medium verdampft. Das in den dampfförmigen Zustand übergegangene Medium verläßt den Verdampfer 10 beziehungsweise die Durchströmkäne 22 als Medium-Abstrom 43 über entsprechende Austrittsöffnungen 27 der

## DE 100 10 400 A 1

13

Durchströmkanäle 22. Das nunmehr dampfförmige Medium wird anschließend über die in Fig. 1 dargestellte Ableitung 14 weitergeleitet.

Um zu vermeiden, daß sich eine wie im Stand der Technik beschriebene nachteilige Dampfblase im Bereich der Eintrittsöffnungen 26 der Durchströmkanäle 22 bilden kann, wodurch ein Durchströmen der Durchströmkanäle 22 mit dem zu verdampfenden Medium behindert oder gar unterbunden werden kann, ist erfindungsgemäß vorgesehen, daß über die Erhitzungseinrichtung 30 in den Durchströmkanälen 22 in Strömungsrichtung D des Mediums ein Profil der Oberflächentemperaturen eingestellt wird, so daß das die Durchströmkanäle 22 durchströmende Medium in verschiedenen Bereichen der Durchströmkanäle 22 abschnittsweise unterschiedlich hohen Temperaturen ausgesetzt wird.

Dies wird im Ausführungsbeispiel durch die Heizelemente 32, 33, 34 erreicht. Diese Heizelemente sind senkrecht zu den Durchströmkanälen 22 ausgerichtet und erstrecken sich jeweils über alle Durchströmkanäle 22 der zugeordneten Durchströmungsschichten 21. Auf diese Weise wird ein Verdampfer 10 geschaffen, in dem die von den Heizelementen 32, 33, 34 erzeugte und bereitgestellte Wärmeenergie abschnittsweise auf das die Durchströmkanäle 22 durchströmende, zu verdampfende Medium übertragen wird. Dies entspricht in etwa einer "Kreuzstrombauweise" allerdings mit dem Unterschied, dass die elektrischen Heizelemente über ihre gesamte Länge hinweg eine gleich hohe Wärmeleistung abgeben können, während bei einem mittels Wärmeträgermedium beheizten Verdampfer die Wärmeleistung wegen der abnehmenden Temperatur des Wärmeträgermediums von Durchströmungskanal zu Durchströmungskanal kontinuierlich abnimmt.

Die einzelnen Heizelemente 32, 33, 34 sind frei und unabhängig voneinander regelbar. Über die Heizelemente 32, 33, 34 kann ein Temperaturprofil des Mediums in Durchströmungsrichtung D durch die Durchströmkanäle 22 nach der Beziehung  $T_1 < T_2 < T_3$  eingestellt werden, wobei mit  $T_1$  die Temperatur im Eintrittsbereich 23 der Durchströmkanäle 22, mit  $T_3$  die Temperatur im Austrittsbereich 24 der Durchströmkanäle 22 und mit  $T_2$  die Temperatur im Bereich 25 zwischen dem Eintrittsbereich 23 und dem Austrittsbereich 24 der Durchströmkanäle 22 bezeichnet ist.

Um die störende Bildung einer Dampfblase vor den Eintrittsöffnungen 26 der Durchströmkanäle 22 zu verhindern, wird das Heizelement 32 nur gering beheizt, so daß sich im Eintrittsbereich 23 die im Hinblick auf das Temperaturprofil geringste Temperatur einstellt. Diese Temperatur  $T_1$  ist so zu wählen, daß das zu verdampfende Medium zwar erhitzt, nicht jedoch bereits verdampft wird. Auf diese Weise kann das zu verdampfende Medium vorgewärmt, aber in noch flüssigem Zustand in die Durchströmkanäle 22 eintreten. Weiterhin wird gewährleistet, daß das flüssige Medium auch im gesamten Eintrittsbereich 23 der Durchströmkanäle 22 in flüssigem Zustand verbleibt. Das mit dem Austrittsbereich 24 der Durchströmkanäle 22 korrespondierende Heizelement 34 kann mit sehr hoher Heizleistung beaufschlagt werden, während durch eine Leistungsvariation bei dem mittleren Heizelement 33 das Temperaturprofil im Bereich 25 der Durchströmkanäle 22 variiert werden kann. Damit kann der Ort, wo das bis dahin noch flüssige Medium in den dampfförmigen Zustand überzugehen beginnt, je nach Bedarf innerhalb der Durchströmkanäle 22 nach vorne oder nach hinten verschoben werden. Wenn das Heizelement 33 mit nur geringer Heizleistung beaufschlagt wird, bedeutet dies, daß die in den Durchströmkanälen 22 herrschende Oberflächentemperatur und folglich auch die Temperatur  $T_2$  des Mediums gering ist, wodurch die Verdampfung des flüssigen Mediums reduziert beziehungsweise ausgesetzt wird. Wenn

14

hingegen das Heizelement 33 mit hoher Heizleistung beaufschlagt wird, wird sich auch die Oberflächentemperatur in den Durchströmkanälen 22 erhöhen, so daß im Bereich 25 ein größerer Anteil des flüssigen Mediums verdampft wird.

Die Einstellung und Steuerung der jeweiligen Heizelemente 32, 33, 34 kann über entsprechende Steuersignale erfolgen, die über Temperaturmessungen mit Hilfe der Temperatursensoren 16, 17 generiert werden.

Um eine vollständige und störungsfreie Verdampfung eines flüssigen Mediums erreichen zu können, wird das Heizelement 32 mit solch einer Heizleistung beaufschlagt, daß das die Durchströmkanäle 22 durchströmende, noch flüssige Medium, einer Oberflächentemperatur ausgesetzt wird, bei der es zwar auf eine Temperatur  $T_1$  erhitzt, jedoch noch nicht verdampft wird. Nachdem das noch flüssige Medium den Eintrittsbereich 23 der Durchströmkanäle 22 verlassen hat, kommt es in den Einflußbereich des Heizelements 33. Dieses Heizelement 33 wird mit einer erhöhten Heizleistung beaufschlagt, so daß das noch flüssige Medium in dem dem Eintrittsbereich 23 folgenden Bereich 25 der Durchströmkanäle 22 einer über der Verdampfungstemperatur  $T_2$  liegenden Oberflächentemperatur ausgesetzt wird, daß es verdampft wird. Da aus dem Eintrittsbereich 23 immer flüssiges Medium nachströmt, wird sicher verhindert, daß sich vor den Eintrittsöffnungen 26 der Durchströmkanäle 22 eine störende Dampfblase bilden kann. Um zu gewährleisten, daß der über die Austrittsöffnungen 27 aus den Durchströmkanälen 22 austretende dampfförmige Medium-Abstrom 43 die für die weiteren Prozessschritte erforderliche Temperatur aufweist, kann es notwendig sein, das dampfförmige Medium im Austrittsbereich 24 der Durchströmkanäle 22 zu überhitzen. Dazu wird das mit dem Austrittsbereich 24 der Durchströmkanäle 22 korrespondierende Heizelement 34 mit sehr hoher Heizleistung beaufschlagt. Auf diese Weise wird eine entsprechend hohe Oberflächentemperatur erzeugt, der das bereits verdampfte Medium im Austrittsbereich 24 der Durchströmkanäle 22 ausgesetzt wird, so dass es sich auf die Überhitzungstemperatur  $T_3$  erwärmt. Der so überhitzte gasförmige Medium-Abstrom 43 kann über die Ableitung 14 weiteren Prozessschritten oder Reaktorelementen, wie beispielsweise einem Reformier, zugeführt werden.

## Bezugszeichenliste

- 10 Vorrichtung zum Erhitzen/Verdampfen von Medien (Verdampfer)
- 11 Eingangsseite
- 12 Ausgangsseite
- 13 Zuleitung
- 14 Ableitung
- 15 Fördereinrichtung (Pumpe)
- 16 Temperatursensor
- 17 Temperatursensor
- 20 Durchströmeinrichtung
- 21 Durchströmsschicht
- 22 Durchströmkanal
- 23 Eintrittsbereich
- 24 Austrittsbereich
- 25 Bereich zwischen Eintrittsbereich und Austrittsbereich
- 26 Eintrittsöffnung
- 27 Austrittsöffnung
- 30 Erhitzungseinrichtung
- 31 Schicht
- 32 Heizelement
- 33 Heizelement
- 34 Heizelement
- 40 Deckelelement (oben)
- 41 Deckelelement (unten)



## DE 100 10 400 A 1

15

42 Medium-Zustrom  
43 Medium-Abstrom  
D Strömungsrichtung

## Patentansprüche

5

1. Vorrichtung zum Erhitzen und/oder Verdampfen flüssiger oder gasförmiger Medien, mit wenigstens einer Durchströmeinrichtung (20), die eine oder mehrere Durchströmschichten (21) mit jeweils einem oder mehreren Durchströmkanälen (22) für das Medium aufweist wobei die Durchströmkanäle (22) jeweils eine Eintrittsöffnung (26) und eine Austrittsöffnung (27) aufweisen und die Eintrittsöffnung (26) mit einer Zuleitung (13) und die Austrittsöffnung (27) mit einer Ableitung (14) verbindbar ist, und mit wenigstens einer aus einer oder mehreren Schichten (31) gebildeten Erhitzungseinrichtung (30) zum Bereitstellen der zum Erhitzen und/oder Verdampfen des Mediums benötigten Wärmeenergie, die mit der Durchströmeinrichtung (20) im Sinne eines Wärmeaustauschers verbunden ist, dadurch gekennzeichnet, dass die Erhitzungseinrichtung (30) derart ausgebildet ist, dass die Oberflächentemperaturen der Durchströmkanäle zumindest in einzelnen Bereichen (23; 24; 25) der Durchströmkanäle (22) in Strömungsrichtung (D) unabhängig von anderen Bereichen einstellbar sind.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Durchströmschichten (21) in Mikrostrukturtechnik und dass die Durchströmkanäle (22) als Mikrokanäle ausgebildet sind.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Erhitzungseinrichtung (30) eine oder mehrere Schichten (31) aufweist, in denen zur Einstellung des Temperaturprofils jeweils eine elektrische Heizeinrichtung vorgesehen ist.
4. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die elektrische Heizeinrichtung jeweils zwei oder mehr elektrische Heizelemente (32, 33, 34) aufweist und zumindest einzelne Heizelemente (32, 33, 34) frei und unabhängig von den anderen Heizelementen regelbar sind.
5. Vorrichtung nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Heizelemente (32, 33, 34) sich quer zur Strömungsrichtung (D) des Mediums über mehrere Durchströmkanäle (22) erstrecken.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Erhitzungseinrichtung (30) eine oder mehrere Schichten (31) aufweist, die zur Einstellung des Temperaturprofils jeweils eine Anzahl von Kanälen für ein Wärmeträgermedium umfassen.
7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Schicht(en) (31) in Mikrostrukturtechnik und daß die Kanäle als Mikrokanäle ausgebildet ist/sind.
8. Vorrichtung nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Kanäle der Schichten (31) und die Durchströmkanäle (22) der Durchströmschichten (21) winklig, insbesondere senkrecht, zueinander ausgerichtet sind.
9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass einzelne Kanäle der Schicht(en) (31) zur Einstellung des Temperaturprofils mit Wärmeträgermedien unterschiedlicher Temperatur durchströmt werden oder durchströmbar sind.
10. Vorrichtung nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Kanäle der Schicht(en) (31) und

16

die Durchströmkanäle (22) der Durchströmschichten (21) parallel zueinander ausgerichtet sind.

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Kanäle der Schicht(en) (31) katalytisch beschichtet sind und daß als Wärmeträgermedium ein unter dem Einfluß der katalytischen Beschichtung exotherm reagierendes Reaktionsmedium vorgesehen ist.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Kanäle der Schicht(en) (31) einen oder mehrere Bereiche mit jeweils unterschiedlicher katalytischer Beschichtung aufweisen.

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass in der Zuleitung (13) wenigstens eine Fördereinrichtung (15), insbesondere eine Pumpe, vorgesehen ist.

14. Vorrichtung nach Anspruch 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass in der Zuleitung (13) im Bereich der Eintrittsöffnung (26) der Durchströmkanäle (22) und/oder in der Ableitung (14) im Bereich der Austrittsöffnung (27) der Durchströmkanäle (22) ein Temperatursensor (16, 17) vorgesehen ist.

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Erhitzungseinrichtung (30) eine mit einem Wärmeträgermedium betriebene Heizeinrichtung und zusätzliche zumindest in einzelnen Bereichen entlang den Durchströmkanälen (22) im Sinne einer Zusatzheizung auch eine elektrische Heizeinrichtung umfaßt.

16. Verfahren zum Erhitzen und/oder Verdampfen flüssiger oder gasförmiger Medien unter Verwendung einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 15, bei dem das zu erhitzende und/oder zu verdampfende Medium einen oder mehrere Durchströmkanäle wenigstens einer Durchströmeinrichtung durchströmt und dabei über wenigstens eine Erhitzungseinrichtung zum Bereitstellen von Wärmeenergie, die mit der wenigstens einen Durchströmeinrichtung im Sinne eines Wärmeaustauschers verbunden ist, erhitzt und/oder verdampft wird, dadurch gekennzeichnet, dass die Erhitzungseinrichtung zur Beeinflussung der Oberflächentemperatur in den Durchströmkanälen in Strömungsrichtung des Mediums zumindest in einzelnen Bereichen unter voneinander unabhängig einstellbaren Betriebsbedingungen betrieben wird.

17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die elektrische Erhitzungseinrichtung mit bereichsweise unterschiedlicher elektrischer Leistung betrieben wird.

18. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die mit einem Wärmeträgermedium betriebene Erhitzungseinrichtung bereichsweise mit unterschiedlich hoher Temperatur und/oder mit unterschiedlich großer Strömungsgeschwindigkeit in die jeweilige Eintrittsöffnung der Durchströmkanäle geführt wird.

19. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Oberflächentemperatur in den Durchströmkanälen, die durch die mit einem Wärmeträgermedium betriebene Erhitzungseinrichtung beheizt werden, bereichsweise durch eine elektrische Zusatzheizung eingestellt wird.

20. Verwendung einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 15 und/oder eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 16 bis 19 zum Erhitzen und/oder Verdampfen eines Brennstoffs und/oder eines Kraft-

APR. 28. 2006 4:09PM

+1-212-319-5101 customer 01933

NO. 1956 P. 31

DE 100 10 400 A 1

17

18

stoffs.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

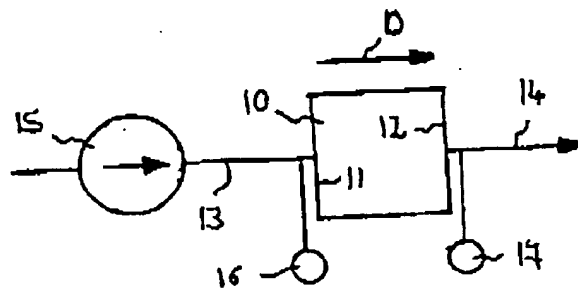


Fig. 1

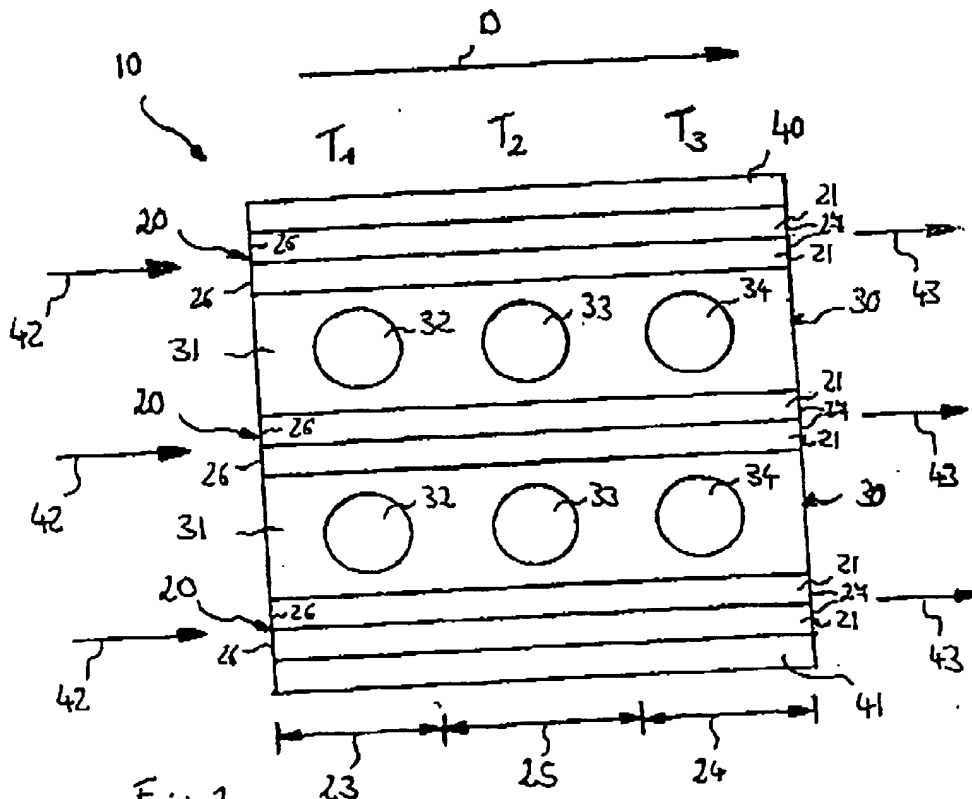


Fig. 2

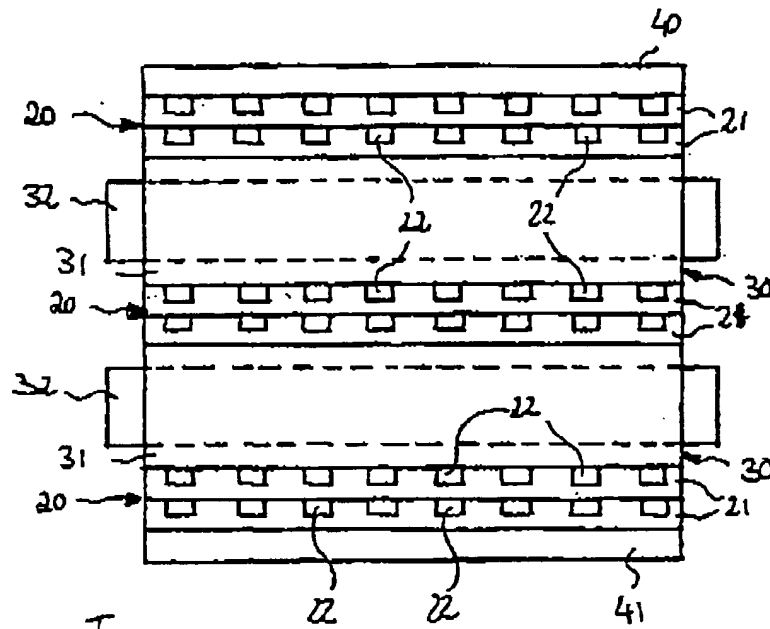


Fig. 3

10